

SÍNTESE POR RAY-TRACING DE IMAGENS ESTEREOSCÓPICAS

J. Miguel Leitão ^{1,2}
A. Augusto Sousa ^{1,3}
F. Nunes Ferreira ^{1,3}

¹ INESC
Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores
Porto, Portugal

² DEE.ISEP
Departamento de Engenharia Electrotécnica do
Instituto Superior de Engenharia do Porto

³ DEEC.FEUP
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Sumário

A visualização de imagens tridimensionais com base no efeito estereoscópico tem sido objecto de interesse para utilizadores e investigadores de diversas áreas. Nos últimos anos, com a vulgarização crescente dos dispositivos de visualização estereoscópica, surgiram diversas aplicações que utilizam o fenómeno da paralaxe para aumentar o realismo das imagens ou para melhorar a transmissão de informação geométrica ao utilizador. As áreas de aplicação incluem medicina, sistemas de controle e robótica, cartografia, desenho assistido por computador, aplicações militares e investigação sobre a visão humana.

Neste artigo, vamos analisar a criação de sensação de profundidade a partir de imagens planas, e examinar os diversos métodos publicados que se utilizam para gerar imagens estereoscópicas. Vamos ainda apresentar um novo método, baseado no algoritmo de Ray-Tracing, assim como as diversas técnicas incorporadas com o objectivo de reduzir o tempo de cálculo. Como demonstram os resultados apresentados, obtidos durante as experiências realizadas, o método proposto permite gerar um par estereoscópico de imagens em apenas 70% do tempo necessário à geração do mesmo par, utilizando o algoritmo tradicional de Ray-Tracing.

1. Introdução

A geração de uma imagem estereoscópica envolve a obtenção de duas vistas, a partir de dois pontos de observação distintos. A geometria básica do algoritmo gerador de imagens estereoscópicas pode ser facilmente explicada utilizando duas câmaras [Lipton91], ou utilizando uma única câmara e aplicando, aos objectos, transformações diversas para cada uma das vistas.

Existem vários métodos publicados para calcular as imagens direita e esquerda de um par estereoscópico. Em [Grotch] e em [Wixson], descrevem-se métodos para criação de pares estereoscópicos de imagens que se baseiam em rotações. Estes métodos, e as distorções que introduzem, foram posteriormente estudados em [Hodges90a]. Em [Lipscomb] propõe-se a aproximação das rotações por deformações (shears). Vários autores [Akka], [Southard] aconselham a utilização de um plano de projecção único para a obtenção das duas imagens, ou a utilização de translações. Estas aproximações derivam do algoritmo das lentes com eixos paralelos, que foi originalmente apresentado em [Baker]. Mais recentemente foi apresentada uma alternativa para geração de imagens para Head Mounted Displays (HMD's) [Robinett], baseada em projecções descentradas cujos eixos podem não ser paralelos. Em [Hodges88] e em [Hodges90], encontramos excelentes descrições e análises dos principais métodos publicados.

Existem também várias tecnologias disponíveis para visualizar imagens tridimensionais. Em [Kasper] e em [Bains93] encontramos descrições das metodologias de concepção de hologramas. Descrições mais ou menos gerais dos sistemas de visualização e apresentação estereoscópica disponíveis, e das tecnologias utilizadas, podem ser encontrados em [Lipton82], [Allister91] e em [Love90]. Um resumo dos principais dispositivos do tipo HMD disponíveis no mercado foi recentemente apresentado em [King]. Outras técnicas de apresentação de imagens estereoscópicas menos utilizadas estão descritas em [Jones90] e em [Sher90].

Qualquer um dos modelos de geração de imagens estereoscópicas pode ser utilizado na aplicação de um dos diversos métodos de síntese de imagem conhecidos [JDFoley]. Os diversos métodos diferem uns dos outros não só no tempo de processamento que requerem, mas também em termos do realismo que permitem obter. É normalmente reconhecida a elevada qualidade das imagens obtidas pelos métodos de geração de imagem baseados nos fenómenos físicos da iluminação, como o Ray-Tracing [Whitted80] e a Radiosidade [MCohen85]. As imagens mais realistas possuem normalmente várias características que possibilitam ao observador uma melhor sensação de profundidade. Estas características são por exemplo, a existencia de luz e de sombras, o efeito de perspectiva, o nevoeiro, e a sobreposição dos objectos mais próximos do observador. A adição do efeito estereoscópico pode, no entanto, acrescentar ainda mais realismo e informação geométrica a imagens planas sintetizadas por computador [Hodges91].

Não são conhecidos trabalhos anteriores relevantes sobre geração de imagens estereoscópicas, utilizando o algoritmo de Ray-Tracing. No entanto, existem numerosos trabalhos sobre optimização do algoritmo de Ray-Tracing [MLeitão93], [Ward], [Glassner], cujas ideias, sujeitas a pequenas adaptações, podem servir de base à implementação de um Ray-Tracer estereoscópico eficiente.



A qualidade requerida para as imagens depende fortemente da aplicação a que se destinam. Existem áreas de aplicação onde a introdução de realismo (aumentando a quantidade e a qualidade das pistas de profundidade) pode ser prejudicial à percepção da informação fundamental contida na cena. Existem ainda áreas de aplicação para as quais a estereoscopia não é necessária ou não é desejável, devido à duplicação de recursos requerida. De facto, um sistema de visualização monoscópico pode ser implementado apenas com metade dos recursos necessários à construção do sistema estereoscópico correspondente. Por outro lado, há várias aplicações que beneficiariam bastante com a utilização de imagens com realismo superior. Nesta situação encontram-se todas aquelas aplicações de Realidade Virtual ou outras que tentam simular o mundo real. Nestas aplicações pode ser considerado vantajoso introduzir o efeito estereoscópico.

2. Ray-Tracing Estereoscópico.

Apesar de serem conhecidas diversas publicações discordantes que apresentam modelos de geração de imagens estereoscópicas, é actualmente aceite que, para gerar pares estereoscópicos correctos, para um ecrã plano, os eixos das lentes das duas câmaras devem ser paralelos [Akka]. Pode também ser facilmente demonstrado que as imagens obtidas por duas câmaras paralelas, observando o mesmo mundo de ponto diferentes, são equivalentes às obtidas por duas câmaras coincidentes que observam dois mundos distintos, criados pela translação adequada de todos os objectos do mundo de modelação original.

O método proposto baseia-se na duplicação do número de objectos da cena, mantendo assim o número de raios constante. A cada objecto modelado original, aplica-se uma translação para a esquerda para criar um novo objecto (figura 2.1). Este objecto será chamado objecto do lado esquerdo, e vai ser utilizado para gerar a imagem que será entregue ao olho direito. Uma translação de sentido contrário aplicada ao mesmo objecto original dá origem ao objecto do lado direito, que vai ser utilizado para gerar a imagem que será entregue ao olho esquerdo.

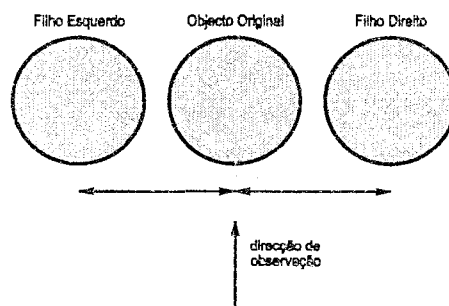


Figura 2.1. Geração de objectos adicionais por translação.

A direcção da translação deve ser simultaneamente perpendicular à direcção de observação e à direcção vertical. O seu versor pode ser obtido pelo produto vectorial normalizado da direcção de observação com o vector que define a vertical da imagem. O módulo da translação corresponde a metade da distância interaxial utilizada na geração da imagem.

A geração simultânea das duas imagens necessita que os dois conjuntos de objectos residam simultaneamente em memória, para poderem ser trabalhados em conjunto. Esta duplicação da base de dados de objectos é uma desvantagem a ter em conta quando se opta por esta solução face à utilização de duas câmaras. O aumento de dimensão da base de dados de objectos pode no entanto ser minimizado, duplicando unicamente a informação geométrica de posição de cada objecto.

Na figura 2.2. podemos observar um exemplo de uma estrutura de dados para armazenamento das descrições dos objectos.

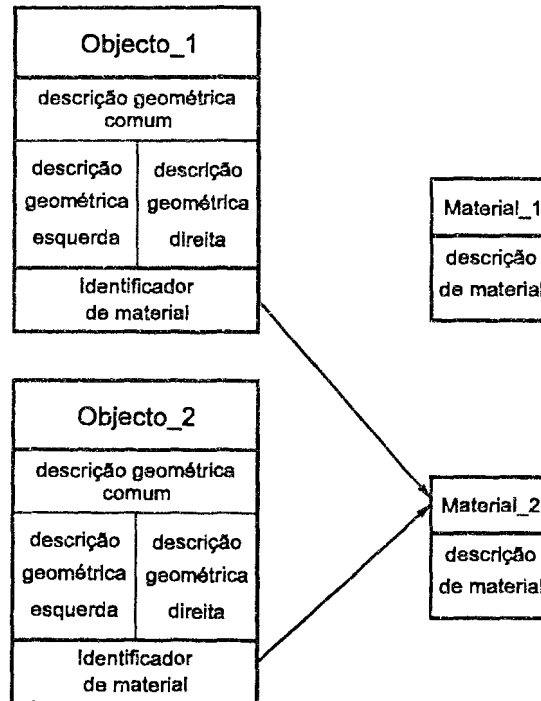


Figura 2.2. Armazenamento das descrições dos objectos, com partilha de informação geométrica e de informação sobre o material.

Toda a informação que é comum aos dois objectos gerados a partir do mesmo original, como a dimensão, a orientação, e a descrição do tipo de material, é partilhada. O aumento da dimensão da base de dados é suportável, principalmente quando o objectivo final é a diminuição do tempo de geração do par de imagens.

A utilização de objectos geminados, implica também uma outra desvantagem à partida: o maior tempo de pré-processamento para efectuar as translações e as alocações de memória necessária à criação dos novos objectos. No entanto, como veremos mais tarde, este tempo será normalmente recuperado pela aceleração que pode assim ser introduzida. Aliás, de uma maneira geral, o aumento do pré-processamento como método de aceleração do algoritmo principal é tanto mais interessante quanto maior for o conjunto dos dados a processar. Como no caso de pares de imagem temos, em princípio, o dobro do número de raios a processar relativamente ao caso monoscópico, deverá ser vantajoso apostar num pré-processamento mais refinado.

Como acontece num Ray-Tracing monoscópico tradicional, os volumes envolventes dos objectos são ordenados hierarquicamente, com base na informação geométrica. São bem conhecidas as vantagens da ordenação hierárquica dos volumes [Glassner], principalmente na aceleração da determinação da intersecção raio-objecto mais próxima do ponto de partida. A ordenação permite baixar a complexidade do algoritmo. O tempo de cálculo deixa de ser proporcional ao número de objectos para passar a depender apenas do logaritmo deste. Desta maneira, a duplicação do número de objecto não implica uma duplicação do tempo de cálculo, desde que o número de raios lançados permaneça constante.

2.1. Intersecção Raio/Objecto Filho

Para cada raio lançado do ponto de observação, devem agora ser obtidos dois pontos de intersecção (I_1 e I_2 da figura 2.3). Um destes pontos deverá pertencer à superfície de um objecto filho do lado esquerdo e outro à superfície de um objecto filho do lado direito. Não é obrigatório que estes dois objectos filhos sejam gémeos um do outro, isto é, podem não ter sido gerados a partir de um pai comum.

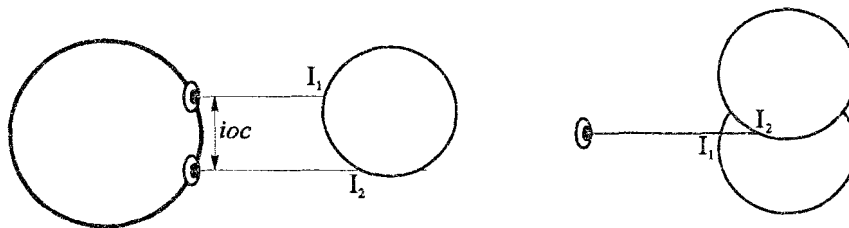


Figura 2.3. Obtenção de dois pontos de intersecção para cada raio.

O algoritmo desenvolvido e que é utilizado para determinar o par de intersecções de um raio com todos os objectos filhos dos objectos originais é o seguinte:

Determina-se a intersecção do raio com a caixa envolvente do objecto raiz. No caso da intersecção existir aplica-se o mesmo processo recursivamente a cada um dos seus descendentes. Os objectos cuja caixa envolvente é intersectada e que não possuem descendentes na ordenação hierárquica, são inseridos na lista de objectos intersectados respectiva. Existem duas listas de objectos intersectados, uma para cada lado, ambas ordenadas por ordem crescente de distância.

Quando o processo de determinação das intersecções com caixas envolventes está concluído, determina-se a distância de intersecção com os objectos das listas. Este processo é efectuado separadamente para cada um dos lados e por ordem crescente de distância. Para cada um dos lados, o processo termina quando for confirmada uma intersecção com uma distância inferior a todas as restantes na lista, ou quando toda a lista for percorrida.

2.2. Cálculo de Iluminação

Para obter os valores da iluminação no par de pontos de intersecção determina-se, em cada um dos pontos, o efeito da iluminação ambiente, de cada uma das fontes luminosas, da reflexão e da transmissão. Para obter os valores de iluminação recebidos no ponto de intersecção segundo as direcções de reflexão e de transmissão, lançam-se novos raios nestas direcções. Poderá portanto haver quatro raios descendentes do primeiro raio. Cada



um destes quatro raios diz apenas respeito a uma das vistas (um dos lados), logo, deverão ser tratados como no algoritmo tradicional.

Será testada a intersecção de cada um destes novos raios apenas com os objectos do lado respectivo. Após verificada a intersecção, cada um destes raios dará origem apenas a um raio reflectido e um raio transmitido, como no algoritmo tradicional de Ray-Tracing. Para não prejudicar este processo, na implementação efectuada manteve-se a estrutura de apontadores que define a ordenação hierárquica para os objectos de um só lado, em paralelo com a ordenação hierárquica global de todos os objectos filhos.

Na figura 2.4. pode ver-se um exemplo de uma árvore de shading que pode ser obtida para um raio estereoscópico.

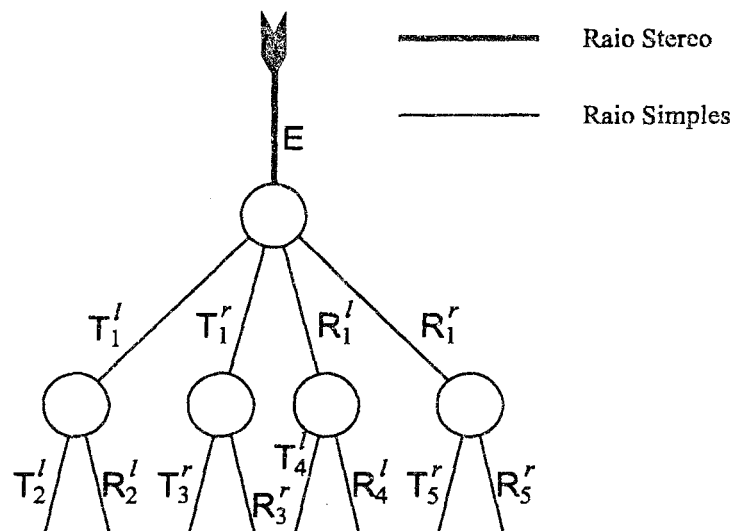


Figura 2.4. Árvore de shading completa, obtida para um raio estereoscópico.

Depois de calculados os pontos de intersecção e a influência da luz directa e ambiente incidentes nos pontos de intersecção, é lançado um raio segundo a direcção de transmissão e outro segundo a direcção de reflexão a partir de cada um dos pontos de intersecção. Do ponto de intersecção do raio original com o objecto do lado esquerdo são enviados os raios R_1^l e T_1^l , respectivamente reflectido e transmitido. Do ponto de intersecção do raio original com o objecto do lado direito são enviados os raios R_1^r e T_1^r , respectivamente reflectido e transmitido.

Poderá haver portanto quatro raios descendentes do primeiro raio. Cada um destes quatro raios diz apenas respeito a uma das vistas (um dos lados), logo, deverão ser tratados como no algoritmo tradicional. Será testada a intersecção de cada um destes novos raios apenas com os objectos do lado respectivo. Após verificada a intersecção, cada um destes raios dará origem apenas a um raio reflectido e um raio transmitido, como no algoritmo tradicional de Ray-Tracing. Para não prejudicar este processo, na implementação efectuada manteve-se a estrutura de apontadores que define a ordenação hierárquica para os objectos de um só lado, em paralelo com a ordenação hierárquica global de todos os objectos filhos.

Caso os dois objectos intersectados sejam irmãos gémeos, os pontos de intersecção sejam coincidentes e as normais às superfícies no ponto intersecção sejam idênticas,

podemos efectuar o cálculo da iluminação em conjunto e atribuir o resultado às imagens de ambos os lados. Isto acontece sobretudo em objectos cuja superfície é paralela à linha interocular, como são normalmente o chão, o tecto, o tampo de uma mesa ou uma parede perpendicular à direcção de observação. Nestes casos, é possível enviar apenas um raio para cada fonte luminosa mais um reflectido e/ou um transmitido para as duas vistas. Estes raios podem ser tratados exactamente da mesma forma que os raios originais enviados do ponto de observação.

A aplicação das técnicas descritas, a um Ray-Tracing tradicional, permite, normalmente, obter as duas imagens de um par estereoscópico num tempo inferior ao necessário para calcular as duas separadamente, através do algoritmo tradicional. As imagens não são alteradas pela aplicação de qualquer das técnicas já descritas. Os resultados obtidos para uma das cenas de teste utilizadas podem ser observados na tabela 2.1.

Resolução	Mono	distância interaxial				
		0	2	4	6	8
128x128	9,77	16,48	15,28	15,17	16,18	15,00
256x256	38,88	74,17	61,40	61,40	60,98	60,97
512x512	145,37	279,10	243,00	242,73	241,68	240,87
1024x1024	647,95	965,42	987,23	982,05	958,83	957,63

Tabela 2.1. Tempos necessários à obtenção de imagens com diversas resoluções, para o caso monoscópico, e estereoscópico com diferentes distâncias inter-axiais.

A tabela seguinte apresenta a mesma informação, mas agora como percentagem do tempo necessário à geração de duas imagens monoscópicas. Os valores apresentados na coluna Mono, correspondem ao tempo, em segundos, necessário para calcular o par estereoscópico de imagens pelo algoritmo tradicional de Ray-Tracing, e foram obtidos pela duplicação dos valores respectivos da tabela anterior.

Resolução	Mono	distância interaxial				
		0	2	4	6	8
128x128	19,53	84,39%	78,24%	77,65%	82,85%	76,79%
256x256	77,77	95,37%	78,95%	78,95%	78,42%	76,40%
512x512	290,73	96,00%	83,58%	83,49%	83,13%	82,85%
1024x1024	1295,90	74,50%	76,18%	75,78%	73,99%	73,90%

Tabela 2.2. Relação entre o tempo necessário à obtenção das imagens estereoscópicas e o dobro do tempo gasto no caso monoscópico.

É possível, no entanto, obter pares estereoscópicos de imagens ligeiramente diferentes das obtidas pelo algoritmo tradicional, em tempo inferior ao conseguido pela simples aplicação das técnicas descritas.

2.3. Cortes na Árvore de Objectos

Uma vez que o efeito estereoscópico só é sentido pelo observador para objectos não muito distantes, podemos prescindir da estereoscopia para os objectos afastados mais do que uma distância previamente definida. Para tal, basta identificar os objectos nessas circunstâncias durante o pré-processamento, e não permitir a geração de filhos a esses

objectos originais. Em lugar dos dois filhos gémeos, será utilizado o pai para ambos os lados. Isto permite reduzir o número total de objectos e portanto o número total de testes de intersecção raio/objecto. As imagens produzidas por este método podem ser consideradas igualmente agradáveis de visualizar.

O utilizador pode negociar uma maior velocidade à custa da diminuição da qualidade da imagem final, simplesmente pela manipulação da distância a partir da qual o efeito estereoscópico é anulado. Valores muito elevados para esta distância permitem obter a imagem geometricamente correcta sem diminuição de tempo. Valores muito baixos implicam a obtenção de um par de imagens idênticas, portanto sem efeito estereoscópico.

Para além da diminuição do efeito estereoscópico, a utilização desta técnica pode introduzir aberrações geométricas, levando ao aparecimento de falhas, buracos, ou sobreposições nos objectos. Isto acontece quando a posição dum objecto relativamente a outro, que deveria estar encostado ou muito próximo, é alterada.

Para evitar estes problemas deve-se ter cuidado com a definição da distância de comparação e com o agrupamento dos objectos nestas condições. A técnica pode ser aplicada apenas aos objectos que pertencem a um grupo onde todos os objectos satisfazem as condições de distância ao ponto de observação.

2.4. Cortes na Árvore de Shading

É possível conseguir tempos de geração de pares de imagens ainda mais interessantes, embora prejudicando a qualidade da imagem final. No mundo real utilizamos a estereoscopia para determinarmos a distância a que os objectos se encontram. Não é muito importante a existência de efeito estereoscópico nas imagens parcialmente reflectidas em objectos da cena.

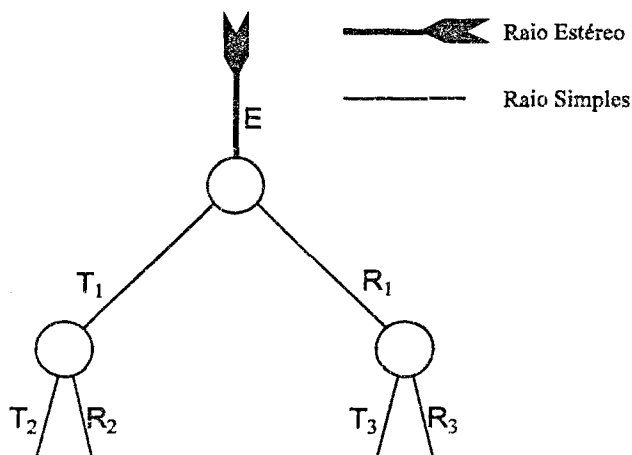


Figura 2.5. Aplicação de cortes na árvore de shading.

Podemos portanto “podar” a árvore de shading de maneira a não duplicar o cálculo das reflexões e das transmissões. Sempre que dois raios paralelos, partindo cada um do seu olho, atingem a mesma superfície plana do mesmo objecto, podem dar origem a dois raios descendentes por transmissão e dois descendentes por reflexão. Os raios descendentes devido à transmissão do objecto intersectado possuem origens diferentes, mas têm direcções e propriedades luminosas comuns. O mesmo acontece com os raios descendentes por reflexão. A aproximação proposta consiste em substituir cada um destes

pares de raios por um outro raio com a mesma direcção e valor, mas com origem no ponto intermédio entre os pontos de intersecção da superfície.

Sempre que esta aproximação for aplicável, o tempo de cálculo é diminuído, uma vez que é efectuado o tratamento de um único raio descendente para ambas as imagens, em lugar dos dois raios habituais, um para cada vista.

Os resultados obtidos com a utilização deste método podem ser vistos na tabela 2.3.

Resolução	Mono	distância interaxial				
		0	2	4	6	8
128x128	19,53	70,24%	72,54%	73,82%	73,05%	74,74%
256x256	77,77	86,09%	87,61%	74,74%	75,12%	75,83%
512x512	290,73	81,38%	82,71%	79,46%	79,75%	80,43%
1024x1024	1295,90	69,26%	71,40%	70,69%	71,25%	71,69%

Tabela 2.3.

Relação entre o tempo necessário à obtenção das imagens estereoscópicas e o dobro do tempo gasto para uma imagem monoscópica.

2.5. Raios Reenviados à Origem

Outra técnica que permite fortes acelerações no tempo de geração do par de imagens, consiste em reenviar os raios lançados do ponto de observação, de novo à origem (figura 2.6). Esta é, das técnicas aqui descritas, a que maior aceleração permite, embora introduzindo erros na imagem estereoscópica final.

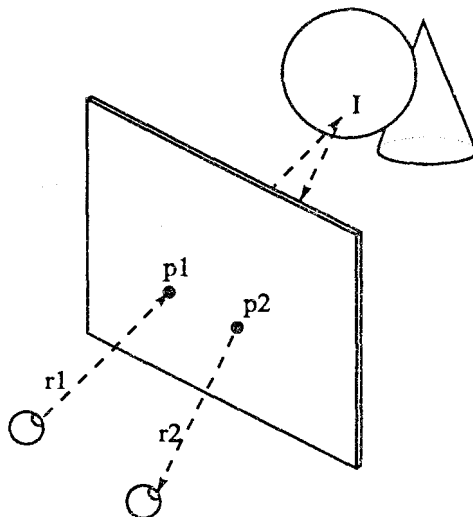


Figura 2.6.

Reenvio de raios à origem.

Na figura 2.6. raio r_1 é enviado a partir do olho esquerdo, através do pixel p_1 . Determina-se o ponto I , que corresponde à intersecção mais próxima com um dos objectos da cena. A iluminação a atribuir ao ponto p_1 é calculada da forma habitual. Em seguida é enviado um raio desde o ponto I até ao olho direito. A intersecção deste raio com o plano de projecção permite determinar o pixel p_2 , pertencente à imagem do lado direito. A este pixel será atribuído o valor de iluminação já determinado para o pixel p_1 da imagem do lado esquerdo.

Para superfícies perfeitamente difusas, a aplicação desta técnica leva à obtenção das imagens correctas em tempo inferior ao conseguido pela utilização dos métodos

anteriormente descritos. No entanto, para objectos que possuam alguma transmissão ou reflexão especular, é introduzido um erro no cálculo de iluminação. O erro introduzido é tanto maior quanto mais importante for o efeito especular na superfície considerada.

Tal como foi descrito para a técnica dos cortes na árvore de shading, também aqui é possível fazer depender a aplicação da técnica à comparação dos coeficientes de iluminação do objecto intersectado com um parâmetro de decisão.

Ao contrário do que acontece com a iluminação difusa, a componente especular da iluminação depende da direcção de observação. Logo, não é correcto aplicar ao pixel p2 da imagem do lado direito, o valor de iluminação especular obtido para o pixel p1 da imagem do lado esquerdo. A aplicação indiferenciada desta técnica introduz portanto erros no cálculo da iluminação especular e transmitida.

Para que a imagem final não sofra destes defeitos, a técnica de reenvio dos raios ao olho só deve ser aplicada quando todas as superfícies intersectadas no vários níveis da árvores de shading forem puramente difusas. Em termos práticos, é possível permitir o reenvio dos raios ao olho, desde que os valores dos coeficientes de transmissão e de reflexão especular não sejam significativos.

Na versão implementada, o reenvio dos raios funciona de maneira um pouco diferente, devido à estrutura de objectos gémeos utilizada. Um raio enviado do ponto de observação único (figura 2.7.), através do pixel p1 da imagem do lado esquerdo, intersecta um objecto no ponto I1. O ponto I1 corresponde à intersecção mais próxima do raio com um objecto filho do lado respectivo. O cálculo da iluminação neste ponto é efectuado pelo processo habitual. Com base no ponto I1, é fácil obter o ponto I2, que corresponde ao ponto com a mesma posição relativa, pertencente ao objecto gémeo do objecto intersectado. Do ponto I2 é reenviado um raio para o ponto de observação. A intersecção deste raio com o plano de projecção define o pixel p2, que será usado para atribuir a iluminação calculada.

Uma vez que o segmento, que une os pontos de intersecção I1 e I2, tem dimensões e orientação fixas, é possível conhecer o ponto p2 sem necessidade de obter a intersecção do raio reenviado com o plano de projecção. Uma vez que a linha interocular é sempre horizontal, as coordenadas verticais dos pixels p1 e p2 são sempre iguais. As coordenadas horizontais diferem da distância entre os dois pixels. Esta pode ser obtida por escalamento da distância que une os pontos de intersecção I1 e I2. O factor de escalamento é dado pela relação entre as distâncias do olho ao ponto de intersecção I1 e do olho ao pixel p1.

$$\overline{p1, p2} = \overline{I1, I2} \cdot \frac{\overline{E, p1}}{\overline{E, I1}} \quad (2.1)$$

A distância $\overline{I1, I2}$ corresponde à separação interaxial utilizada no pré-processamento.

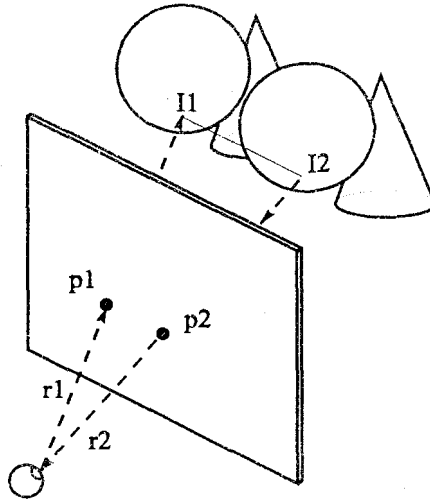


Figura 2.7. Reenvio de raios à origem, utilizando um ponto de observação único, e objectos trasladados.

Os resultados obtidos com a utilização deste método podem ser vistos na tabela 2.4.

Resolução	Mono	distância interaxial				
		0	2	4	6	8
128x128	19,53	59,90%	56,83%	57,34%	57,34%	62,46%
256x256	77,77	61,98%	58,25%	58,77%	65,84%	68,67%
512x512	290,73	65,63%	61,50%	62,22%	62,57%	63,18%
1024x1024	1295,90	63,74%	55,41%	55,75%	56,49%	58,97%

Tabela 2.4. Relação entre o tempo necessário à obtenção das imagens estereoscópicas e o dobro do tempo gasto para uma imagem monoscópica.

2.6. Utilização da Coerência de Imagem

A aplicação das técnicas que aproveitam a coerência de uma imagem ao algoritmo de Ray-Tracing estereoscópico apresentado, não é difícil. É também pouco complicado introduzir capacidades de obtenção de imagens de realismo crescente. O protótipo desenvolvido incorpora estas duas capacidades, graças aos conhecimentos nesta área adquiridos pelos autores em trabalhos anteriores [Sousa90], [MLeitão91], [MLeitão92], [MLeitão93].

A utilização da coerência num algoritmo de Ray-Tracing estereoscópico, permite, tal como no caso monoscópico, obter imagens muito semelhantes às obtidas pelos algoritmos tradicionais, mas em tempo bastante inferior.

Esta técnica perde eficiência quando utilizada em conjunto com as técnicas anteriores. Isto deve-se ao facto de o algoritmo estereoscópico já utilizar coerência entre as duas imagens para acelerar o cálculo. Em termos simplificados podemos justificar a situação com o facto de a cor de um pixel poder ser determinada pela coerência que o ponto possui com os vizinhos da mesma imagem, ou pela coerência que possui com o ponto homólogo da outra imagem. O facto de a mesma informação poder ser encontrada por duas vias distintas, não acelera a sua obtenção.

3. Conclusão

O algoritmo apresentado para geração de pares estereoscópicos de imagens, baseado no algoritmo tradicional de Ray-Tracing, permite obter a imagem estereoscópica em tempo bastante inferior ao necessário para gerar o mesmo par pelo algoritmo tradicional. Apesar de depender fortemente da cena a tratar, o algoritmo apresentado permite obter o par estereoscópico em tempo apenas ligeiramente superior ao normalmente gasto para uma simples imagem monoscópica.

A solução proposta é adaptável à maioria das aplicações que necessitam de imagens com níveis de realismo elevado. Para facilitar a adaptação a diversos níveis de exigência, foram também apresentadas várias técnicas que podem ou não ser incorporadas na implementação final. Algumas destas técnicas, permitem ao programador ou ao utilizador negociar uma solução interessante entre um bom tempo de cálculo e uma imagem de excelente qualidade.

O algoritmo proposto é de implementação pouco complexa, pois pode ser implementado a partir de qualquer versão monoscópica do algoritmo de Ray-Tracing. O algoritmo proposto é também compatível com a generalidade das optimizações e melhoramentos publicados para incorporação em Ray-Tracers monoscópicos. Graças à forte ligação do algoritmo apresentado com o Ray-Tracing tradicional, espera-se que esta compatibilidade seja mantida para com todas as optimizações e melhoramentos que deverão aparecer no futuro.

Referências

- [Sousa90] A. A. Sousa, A. C. Costa, F. N. Ferreira, *Interactive Ray-Tracing for Image Production with Increasing Realism*, Eurographics'90, 1990
- [Glassner] A. S. Glassner, *An Introduction to Ray Tracing*, Academic Press, ISBN 0.12.286160.4, 1989
- [Southard] David A. Southard, *Transformations for Stereoscopic Visual Simulation*, Computers & Graphics Volume 16, Number 4, Winter 1992
- [Allister91] David F. McAllister, *3D Displays*, Byte, October 1991
- [King] Douglas King, *Heads Up*, Computer Graphics World, November 1993
- [Jones90] Edwin R. Jones, Jr. and A. Porter McLaurin, *VISIDEP: Three-Dimensional Imaging Through Alternating Pairs*, Siggraph 90, Course Notes 6 - Stereographics
- [Ward] Gregory J. Ward, *Adaptative Shadow Testing for Ray-Tracing*, "Second Workshop on Rendering", Barcelona, 1991
- [Baker] J. Baker, *Generating Images for a Time-Multiplexed Stereoscopic Computer Graphics System*, True 3D Imaging Techniques and Display Technologies, Proc SPIE, Vol 761, pp 44-52, 1987
- [JDFoley] J. D. Foley; Andries Van Dam; Steven K. Freiner; *Computer Graphics, Principles and Practice (2ª edition)*, John F. Hughes, Addison-Wesley, 1990
- [Lipscomb] J. Lipscomb, *Three-Dimensional Cues For a Molecular Computer Graphics System*, PhD. Dissertation, University of North Carolina, Chapel Hill, 1979
- [MLeitão93] J. Miguel Leitão; A. Augusto Sousa; A. Cardoso Costa; F. Nunes Ferreira, *Strategies and Implementation of Ray-Tracing with Increasing Realism*, Graphics Modeling and Visualization in Science and Technology, Springer-Verlag, ISBN 3-540-55965-5



- [MLeitão91] J. Miguel Leitão; A. Augusto Sousa; A. Cardoso Costa; F. Nunes Ferreira, *Estratégias e Implementação de Realismo Crescente em Ray-Tracing*, 4º Encontro Português de Computação Gráfica, Lisboa, 1991
- [MLeitão92] J. Miguel Leitão; A. Augusto Sousa; A. Cardoso Costa; F. Nunes Ferreira, *Strategies and Implementation of Ray-Tracing with Increasing Realism*, Second Graphics Workshop on Modelling and Visualisation, Darmstadt - Germany, April 1992.
- [Kasper] Joseph E. Kasper and Steven A. Feller, *The Complete Book of Holograms*, John Wiley & Sons, Inc, ISBN 0-471-62941-3, 1987
- [Hodges91] Larry F. Hodges and Shane Wm. McWhorter, *Stereoscopic display for design visualization*, Signal Processing: Image Communication 4 (1991) 3-13
- [Hodges90] Larry F. Hodges, *Computing Stereographic Views*, Siggraph 90, Course Notes 6 - Stereographics
- [Hodges88] Larry F. Hodges, *Stereoscopic Transformations*, Siggraph 88, Course Notes 21 - Stereoscopic and Multiplanar Computer Graphics
- [Hodges90a] Larry F. Hodges; David F. McAllister, *Rotation algorithm artifacts in stereoscopic images*, Optical Engineering / August 1990 / 29 (8)
- [Sher90] Lawrence D. Sher, *The Oscillating-Mirror Technique for Realizing True 3D*, Siggraph 90, Course Notes 6 - Stereographics
- [Lipton82] Lenny Lipton, *Foundations of the Steroscopic Cinema - A Study in Depth*, Van Nostrand, New York, 1982
- [Lipton91] Lenny Lipton, *The CrystalEyes Handbook*, StereoGraphics Corporation.
- [MCohen85] Michael F. Cohen; Donald P. Greenberg, *The Hemi-Cube, A Radiosity solution for complex environments*, Communication of the ACM, 19 (3), June 1985
- [Akka] Robert Akka, *Creating Stereoscopic Software*, The CrystalEyes Handbook, StereoGraphics
- [Wixson] S. E. Wixson, *Four-Dimensional Processing Tools for Cardiovascular Data*, IEEE Computer Graphics and Applications 3,5 33-59, Aug 1983
- [Grotch] S. L. Grotch, *Three Dimensional and Stereoscopic Graphics for Scientific Data Display and Analysis*, IEEE Computer Graphics and Applications 3,8 31-43, Nov 1983
- [Love90] Shaun Love, *Three Dimensional Hardcopy*, Siggraph 90, Course Notes 6 - Stereographics
- [Bains93] Sunny Bains, *Holographic Printing of 3-D Images nears Reality*, Laser Focus World, Vol. 29 No. 4, April 1993
- [Whitted80] Turner Whitted, *An Improved Illumination Model for Shaded Display*, Communication of the ACM, 23 (6), June 1980
- [Robinett] Warren Robinett and Jannick P. Rolland, *A Computational Model for the Stereoscopic Optics of a Head-Mounted Display*, UNC-TR91-009

